



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH MODERNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY OCELOVÝCH FOREM

THE PROPOSAL OF ADVANCED PRODUCTION TECHNOLOGY OF STEEL MOLDS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADEK OPRŠÁL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILAN KALIVODA

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Radek Opršál

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh moderní technologie výroby ocelových forem

v anglickém jazyce:

The proposal of advanced production technology of steel molds

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod.
2. Představení stávající technologie výroby ocelových forem.
3. Rozbor možností úprav technologie.
4. Návrh optimalizace řešení na stávajícím strojovém parku.
5. Detailní sestavení technologie s TPV dokumentací.
6. Technicko-ekonomické zhodnocení.
7. Diskuze.
8. Závěr.

Cíle bakalářské práce:

Rozbor technologie a návrhy na zlepšení ve specifických podmínkách firmy.

Seznam odborné literatury:

1. MAŇKOVÁ, Ildikó. Progresívne technológie (Advanced methods of material removal). 1. vyd. Košice: Viena, 2000. 276 s. ISBN 80-7099-430-4.
2. HÍREŠ, Ondrej, Michal HATALA a Sergej HLOCH. Delenie kovových materiálov okružnou pílou, vodným prúdom a plazmovým oblúkom. 1. vyd. Ostrava-Poruba: Jiří Pustina, 2007. 147 s. ISBN 978-80-8073-769-6.
3. Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.
4. PERNÍKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.

5. ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 21. 11. 2014



VB. Píška

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá modernizací výroby ocelových forem ve firmě P-D Refractories CZ a.s. Obsahuje rozbor stávajících technologií výroby, určení kritického místa ve výrobě a rozbor možností úprav stávající technologie. Dále obsahuje návrh nejoptimálnější metody řešení, technologický postup, upravený pro nové řešení, a zhodnocení.

Klíčová slova

elektrojiskrové obrábění, vysokorychlostní obrábění, broušení, technologický postup

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the modernization of steel mould production in the company P-D Refractories CZ a.s. The thesis focuses on the analysis of current production technology, determination of the bottleneck in production, and the analysis of the possibilities of modification of current technologies. The last part of the thesis proposes the most optimal methods of solution, introduces the technical procedure modified for the new solution and presents the evaluation of the data.

Key words

spark erosion, high-speed cutting, grinding, technical procedure.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

OPRŠÁL, Radek. *Návrh moderní technologie výroby ocelových forem*. Brno 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 34 s. 1 příloha. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Návrh moderní technologie výroby ocelových forem** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Radek Opršál

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi z VUT v Brně za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Děkuji tímto Ing. Jiřímu Kynclovi z P-D Refractories CZ a.s. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Děkuji tímto svojí rodině za podporu po celou dobu mého vysokoškolského studia.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 PŘEDSTAVENÍ STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE VÝROBY OCELOVÝCH FOREM..	10
1.1 Výrobní dokumentace.....	10
1.2 Výroba dílů formy	10
1.2.1 Výroba dílů formy z konstrukční oceli EN 1.0553.....	10
1.2.2 Výroba záložek z nástrojové oceli EN 1.2436.....	10
1.3 Výroba horního a dolního razníku	11
1.3.1 Horní razník	11
1.3.2 Dolní razník	13
1.4 Sestavení formy	13
2 ROZBOR MOŽNOSTÍ ÚPRAV TECHNOLOGIE.....	15
2.1 Elektrojiskrové hloubení.....	15
2.1.1 Materiály nástrojových elektrod	16
2.1.2 Opotřebením nástrojových elektrod.....	17
2.1.3 Elektrojiskrové broušení	17
2.2 Vysokorychlostní obrábění - High speed cutting (HSC)	19
2.2.1 Mechanismus tvorby třísky.....	19
2.2.2 Řezné podmínky HSC	20
2.2.3. Stroje a nástroje HSC.....	21
2.2.4 Výhody, použití a přínosy HSC	22
2.2.5 Nevýhody HSC obrábění	22
3 NÁVRH OPTIMALIZACE ŘEŠENÍ NA STÁVAJÍCÍM STROJOVÉM PARKU ...	23
3.1 Vhodnost metod.....	23
3.1.1 Elektrojiskrové hloubení.....	23
3.1.2 Elektrojiskrové broušení	23
3.1.3 Vysokorychlostní obrábění - HSC	23
4 SESTAVENÍ TECHNOLOGIE S TVP DOKUMENTACÍ.....	25
5 TECHNICKO -EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	26
5.1 Broušení	26
5.1.1 Náklady na broušení	26

5.2 Vysokorychlostní obrábění	26
5.2.1 Použité vztahy	27
5.2.2 Výpočet strojního času	28
5.2.3 Náklady na HSC frézování	28
6 DISKUZE	29
ZÁVĚR	30
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	31
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	33
SEZNAM PŘÍLOH.....	34

ÚVOD

Tématem této práce jsou problematická místa ve výrobě ocelových forem ve společnosti P-D Refractories CZ a.s Svitavy.

P-D Refractories CZ a.s. patří do koncernu společnosti P-D Glas-und Feuerfestwerke Wetro GmbH. Tato společnost vyrábí a dodává materiál pro kompletní i částečné vyzdívky pro tepelná zařízení (agregáty), především pro koksové pece, vysoké pece (včetně ohřívачů větru), sklářské pece, elektrolyzéry primární výroby hliníku a další. Výrobní sortiment zahrnuje šamotové kameny, vysoce hlinité kameny, dinasové kameny, izolační kameny, žáruvzdorné jíly a ostřiva, akumulární magnetit, komínové vložky, žáruvzdorné malty, tmely a betony. Společnost také nabízí dodávky modifikovaných kvalit podle individuálního přání zákazníka. Podnik je vybaven moderním výrobním a zkušebním zařízením, které zaručuje stálou vysokou výrobní kvalitu. [1]

Společnost P-D Refractories CZ a.s. patří mezi největší výrobce a dodavatele žáruvzdorných surovin a materiálů. Výroba probíhá, v souladu s certifikátem podle ISO 9001, ve čtyřech závodech. Ty se nachází ve Svitavách (obr. 1), Velkých Opatovicích, Březině a Březinkách. [1]

Historie společnosti sahá do roku 1892, kdy se firma "Gessner a Pohl" rozhodla postavit ve Velkých Opatovicích továrnu na žáruvzdorné materiály. V letech 1960-1965 byl závod rozšířen o nový provoz. Po dokončení stavby nového provozu se závod stal největším producentem šamotového zboží v Evropě. Bylo v něm možné vyrábět 120 000 tun výrobků v roce. Závod ve Svitavách byl postaven v letech 1981-1985 jako Dinas Svitavy. V tomto závodě se vyrábělo dinasové zboží pro koksovny. V roce 2000 společnost P-D Glas und Feuerfestwerke Wetro GmbH kupuje akcie společnosti Moravské šamotové a lupkové závody a. s., společnost dostává jméno P-D Refractories CZ a.s. [1]

Společnost P-D Refractories CZ a.s. byla v roce 2011 oceněna grantem na podporu zahraničního obchodu v kategorii Asie. [1]



Obr.1 P-D Refractories CZ a.s. Svitavy [1]

1 PŘEDSTAVENÍ STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE VÝROBY OCELOVÝCH FOREM

V současnosti se ve společnosti P-D Refractories CZ a.s. vyrábí velké množství šamotových cihel, které se liší tvarem a velikostí. Základní postup na výrobu forem však zůstává stejný. Nejdřív se, na základě požadavků zákazníka, vytvoří výrobní dokumentace cihly. Dalším krokem je výroba vložek a záložek do těla formy, tak aby byl zajištěn požadovaný tvar cihly. Záložky jsou v přímém styku s cihlou při lisování a proto je nutné provést kalení záložek, kvůli zvýšení tvrdosti. Po kalení je nutné obrobít záložky na požadovaný tvar a rozměry. Vložky a záložky jsou poté umístěny do lisovací formy.

1.1 Výrobní dokumentace

Tvorba výrobní dokumentace se skládá z několika kroků. Prvním krokem je přijetí zakázky. Na základě této zakázky zpracuje konstrukční oddělení požadavky zákazníka, a následně upraví nedostatky v dokumentaci dodané zákazníkem, a nebo vytvoří vlastní dokumentaci žáruvzdorné tvarovky.

Dále je tato dokumentace poslána do technické přípravy výroby (TPV). V tomto oddělení je určen materiál, z kterého se bude tvarovka vyrábět. Poté je nutné podle typu materiálu a rozměrů tvarovky spočítat přídavky na smrštění, nebo roztažení při vypalování. Po přepočítání přídavků se v konstrukci vytvoří výrobní dokumentace už na přepočítanou tvarovku. Podle velikosti tvarovky se přiřadí rám formy, a vytvoří se dokumentace pro výrobu záložek, razníků a distančních plechů.

1.2 Výroba dílů formy

Pro lisování cihel je potřeba vyrobit dva druhy vnitřních dílů formy. První z nich jsou distanční plechy, které nejsou v přímém kontaktu s cihlou. Jsou vyráběny z konstrukční oceli EN 1.0553. Druhou skupinou jsou záložky, které jsou v přímém kontaktu s cihlou. Záložky jsou vyráběny z nástrojové oceli EN 1.2436, která se poté tepelně zpracovává. [2]

Jediné vnější části formy, které je třeba vyrábět jsou krycí plechy příčné a podélné. Stejně jako distanční plechy, jsou vyrobeny z konstrukční oceli EN 1.0553.

1.2.1 Výroba dílů formy z konstrukční oceli EN 1.0553

Jak je zmíněno v kap. 1.2, z konstrukční oceli EN 1.0553 jsou vyráběny dva druhy dílů. Distanční a krycí plechy. Výroba obou těchto dílů začíná vypalováním polotovaru autogenem. Dalším krokem je obrobení na frézce, kde jsou díly obrobeny na požadované rozměry. Následně jsou funkční plochy dílů obroušeny na rovinných bruskách. Po obroušení je výroba distančních plechů u konce. Do krycích plechů je ještě třeba vyvrtat otvory na šrouby, které slouží k upevnění krycích plechů k rámu formy.

1.2.2 Výroba záložek z nástrojové oceli EN 1.2436

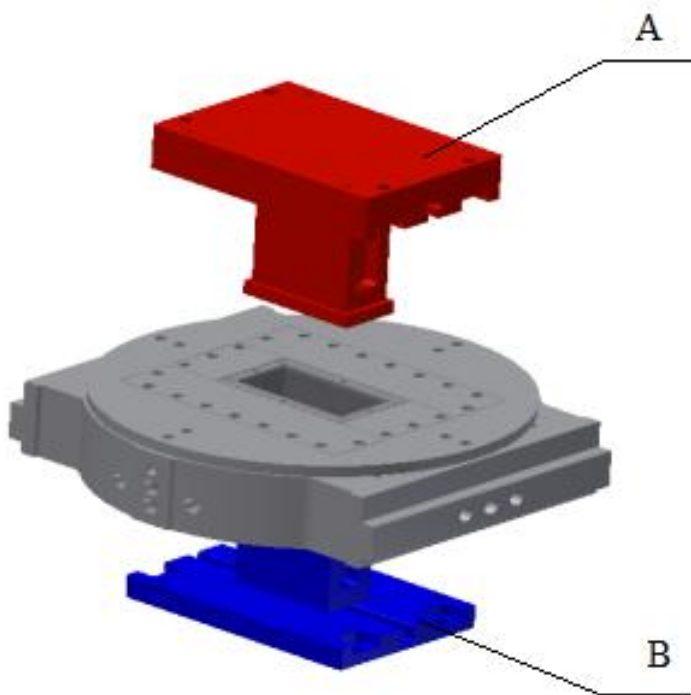
Výroba záložek začíná řezáním. Z kovaných tyčí o délce 3 m je na pásové pile uříznuta deska materiálu s přídavky na obrábění. Tento kus dále pokračuje na frézku, kde se obrobí na tvar s přídavky na dokončovací obrábění po tepelném zpracování. Jako tepelné zpracování se nejčastěji používá objemové kalení.

Po tepelné úpravě materiálu dojde k deformaci součásti, která je způsobena teplem. Proto jsou na materiálu přídavky k obrábění. To se provádí na bruskách. Firma disponuje pouze rovinnými horizontálními a vertikálními bruskami, které nejsou počítačově řízeny. Některé záložky však obsahují složité prvky na obrábění, proto je nutné vytvarovat brousící kotouče na potřebný tvar.

Kalení je nutné provádět kvůli zvýšení tvrdosti a odolnosti proti abrazi. Při lisování tvarovky působí na záložky velký tlak, který způsobuje vpichování lisovaného materiálu, šamotu, do těl záložek. Při vyrážení vylisovaného materiálu z formy jsou zapíchnutá zrnka lisovaného materiálu vytrhávána ven z těl záložek. Tím je způsobeno velké abrazivní opotřebení záložek. Díky kalení je toto opotřebení minimalizováno. Po určitém množství lisování se však tyto záložky opotřebují a je třeba je renovovat. [2]

1.3 Výroba horního a dolního razníku

Protože se žáruvzdorné tvarovky liší, podle požadavků zákazníka, je nutné vyrobit lisovací nástroje. Jako lisovací nástroje slouží horní a dolní razník.

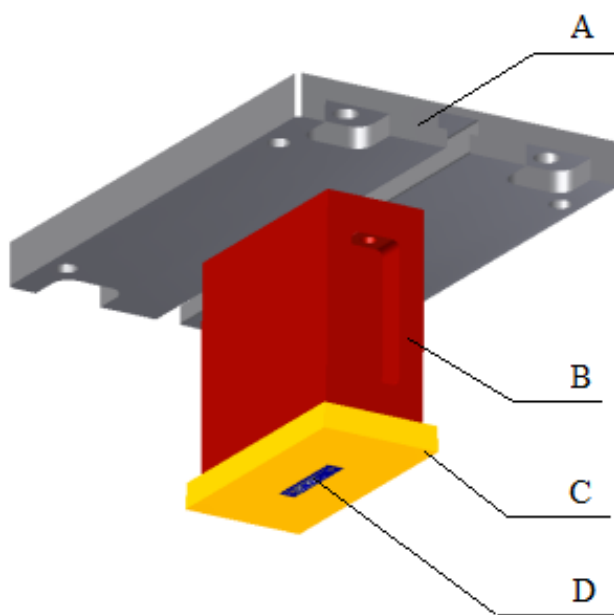


Obr.2 Kovová forma F-2162 [2]

Horní razník, který je na obr. 2 označený písmenem A, vykonává hlavní lisovací pohyb. Jako opora při předlisování mu slouží dolní razník, který je označený písmenem B. Při dolisování se dolní razník pohybuje proti pohybu horního razníku. Poslední funkcí dolního razníku je vyrážení tvarovky z dutiny formy. [2]

1.3.1 Horní razník

Jak je vidět na obr. 3, horní razník není vyrobený z jednoho kusu materiálu, ale skládá se ze čtyř částí. [2]



Obr.3 Horní razník [2]

Část horního razníku označená písmenem A je upínací deska. Slouží k upevnění těla razníku k lisovacímu stroji. V současné době se upínací desky nevyrábí s každou novou formou. Ve výrobě jsou již normalizovány. [2]

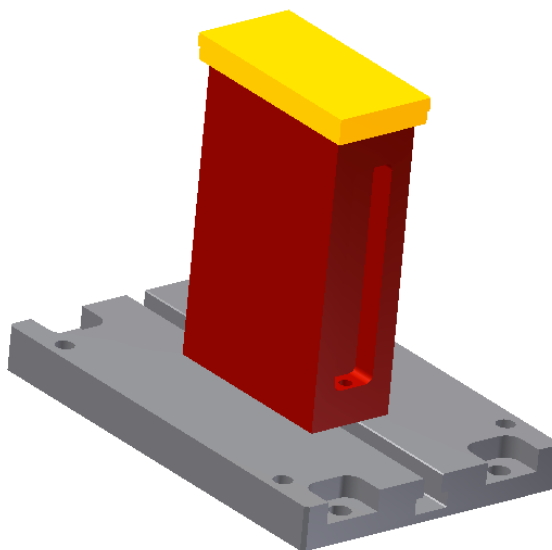
Část razníku, obrázku označená písmenem B, je tělo horního razníku. Tělo horního razníku se musí vyrobit pro každou novou formu, z důvodu rozdílných požadavků zákazníka. Vyrábí se z nelegované konstrukční oceli EN 1.0553. Výroba těla horního razníku probíhá obdobně jako výroba distančních plechů. Nejdříve je z plechové tabule vypálen polotovár, který je posléze obroben na frézce na požadované rozměry. K upínací desce je tělo razníku přišroubováno. [2]

Další část razníku, označená písmenem C, se jmenuje horní razící deska. K tělu razníku je upnuta pomocí šroubů. Na výrobu horní razící desky se používá materiál EN 1.2714. Výroba se moc neliší od výroby záložek. Z kovové tyče se na pásové pile uřízne materiál s přídavky na obrábění. Na frézce je deska obrobena na požadovaný tvar s přídavky na obrábění po kalení. Následuje objemové kalení horní razící desky. Nakonec je součást na frézce obrobena na požadované rozměry. Na tělo horního razníku je horní razící deska přišroubována pomocí šroubů. [2]

Část horního razníku označená písmenem D je popisový štítek. Jak je zřejmé z názvu, popisový štítek slouží k označování tvarovek. Proto se musí vyrobit pro každou novou formu. Z dvoumetrové tabule plechu se na padacích nůžkách nastříhají dvoumetrové pásy plechu široké 20 mm. Poté jsou tyto pásy rozstříhány na 50 mm štítky. Na každém štítku se vybrousí náběhy a na každé straně se vyvrtá jedna díra pro šroub. Na střed se kulatou frézou zrcadlově vyfrézuje značka tvarovky. Poté se popisové štítky tepelně upravují. K tělu razníku je popisový štítek přišroubován pomocí dvou šroubů. Někteří zákazníci nepožadují označení tvarovek, tudíž výroba popisového štítku není nutná. [2]

1.3.2 Dolní razník

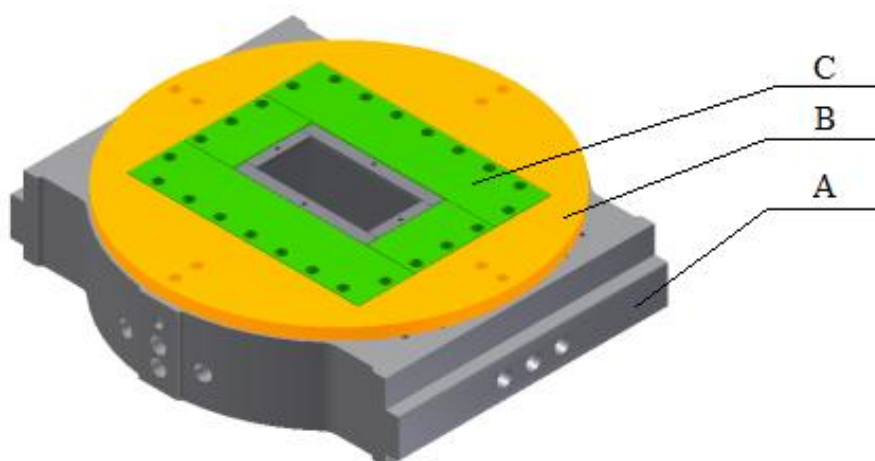
Dolní razník se od horního razníku téměř neliší. Skládá se pouze ze tří částí, protože neobsahuje popisový štítek. Druhý rozdíl je v rozměrech dolního razníku, které musí být menší kvůli úkosům ve formě. Ty slouží ke snadnějšímu vyjmutí tvarovky z formy. Výroba dílů horního a dolního razníku se od sebe neliší, proto ji nebudu dále popisovat. [2]



Obr. 4 Dolní razník [2]

1.4 Sestavení formy

Poté co jsou vyrobeny všechny části, je třeba sestavit formu, která je také označována jako tělo lisovacího nástroje. Forma se neskládá pouze z částí, které je nutné vyrábět, ale také z částí které jsou ve firmě standardizovány.



Obr. 5 Tělo lisovacího nástroje F-2162 [2]

Pro popis vnějších dílů formy je využit obr. 5. Základním prvkem pro sestavení formy je univerzální rám, který je na obrázku označen písmenem A. Na univerzální rám je umístěn krycí kruh, společně s krycími plechy. Součástí označená písmenem B je krycí kruh, který je v současnosti ve firmě standardizován. Proto není nutné ho vyrábět s každou

novou formou. Krycí plechy, označené písmenem C, se vyrábějí jako párové součásti, proto lze na formě najít vždy dva příčné a dva podélné krycí plechy. Funkcí krycích plechů je fixace vnitřních částí formy a zabránění propadu lisovaného materiálu do formy. Stejně jako krycí plechy, slouží krycí kruh k zabránění propadu lisovaného materiálu do formy. Všechny tyto prvky jsou k univerzálnímu rámu přišroubovány. [2]

Pod krycím kruhem a krycími plechy jsou umístěny vnitřní díly formy. Výměnné vložky, distanční plechy a záložky. Přímě na rám formy navazují podélné a příčné výměnné vložky. Oba druhy výměnných vložek se do formy umísťují v párech. K rámu se připevňují pomocí šroubů. Každá výměnná vložka má na vnější straně robustní pero, které zapadá do rámu formy a vymezuje tak pohyb. Vložky v těle rámu plní dvě důležité funkce. Přenos radiálních a axiálních sil do rámu formy a zmenšení vnitřních rozměrů formy. Výměnné vložky patří mezi standardizované součásti. [2]

Následující částí, navazující na výměnné vložky, jsou distanční plechy. Opět se jedná o párové součásti. Ve formě lze tedy nalézt dva distanční plechy podélné a dva distanční plechy příčné. Funkcí těchto součástí je vymezit prostor mezi výměnnými vložkami a záložkami.

Poslední vnitřní částí jsou záložky, které se stejně jako výměnné vložky a distanční plechy, umísťují do formy v párech. Do formy jsou nejdříve umístěny podélné záložky. Ty se následně pomocí hydraulického zařízení odtlačí od sebe. Do vzniklé dutiny jsou nalisovány příčné záložky. Příčné záložky plní rozpěrnou funkci. Oba typy záložek jsou při lisování vystaveny největším silám, proto se také nejvíce opotřebovávají. [2]

2 ROZBOR MOŽNOSTÍ ÚPRAV TECHNOLOGIE

Výroba ocelových forem pro žáruvzdorné tvarovky patří k časově náročným operacím. Proto je snaha čas na jejich výrobu zkrátit. Toho by se dalo dosáhnout vhodnější volbou materiálu, nebo nahrazením časově náročných technologií. Nejvíce časově náročnou technologií, je broušení tepelně zpracovaných záložek z konstrukční oceli EN 1.2436, na požadované rozměry. Při tepelném zpracování totiž dochází k deformaci záložek, která je u větších dílů v řádech milimetrů. Protože se v současnosti vyrábí 1400 kusů záložek týdně, zaměřím se na úpravu technologie jejich výroby.

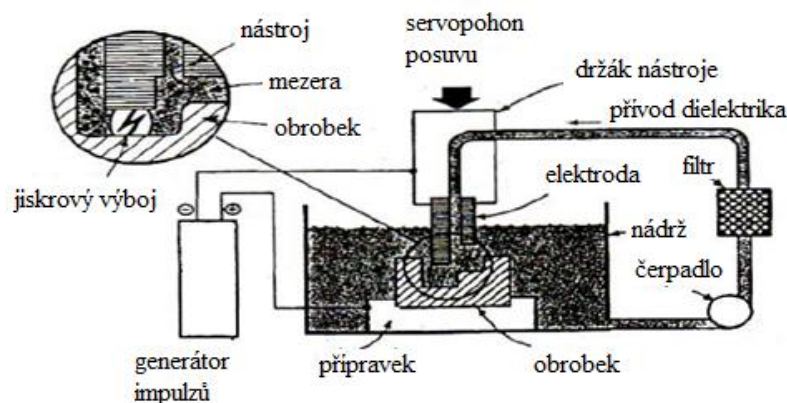
Jednou z možností úpravy je změna materiálu. Jak ale bylo zjištěno ve firmě, konstrukční ocel EN 1.2436 je nejvhodnějším volbou. Tato ocel se vyznačuje vysokou rozměrovou stálostí po kalení, které může probíhat i na vzduchu, a odolností proti otěru. Tvrdost dosažitelná po kalení je 63 HRC. Chemické analýza oceli je uvedena v tabulce 1. [3]

Tab. 1. Chemické analýza oceli EN 1.2436 [3].

C	Si	Mn	P max	S max	Cr	W
2,00-2,30	0,10-0,40	0,30-0,60	0,030	0,30	11,00-13,00	0,60-0,80

2.1 Elektrojiskrové hloubení

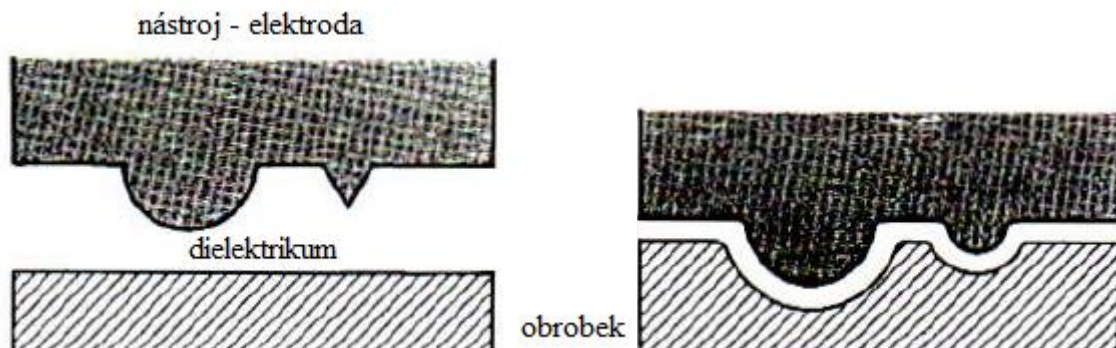
První z moderních technologií, kterou lze nahradit časově náročné broušení, je elektrojiskrové obrábění. Tato metoda obrábění je založena na využití tepelné energie, která je získána z elektrického výboje mezi nástrojem a obrobkem. Pomocí rychle se opakujících periodických impulzů výboje dochází k úběru materiálu. Ten je po velmi malých částicích odstraňován tavením a odpařováním v podobě dutých kuliček. Tyto malé kuličky jsou z místa mezi nástrojem a obrobkem odnášeny proudem dielektrické kapaliny, do které je nástroj i obrodek ponořen. Jako dielektrická kapalina se nejčastěji používá petrolej. [4]



Obr. 6 Princip zařízení pro elektrojiskrové obrábění [4]

Protože elektrický výboj probíhá mezi nástrojovou elektrodou a obrobkem, je nutné aby byly z vodivého materiálu. Jak je vidět na obrázku, nástrojová elektroda není v přímém kontaktu s obrobkem, ale je umístěna v těsné blízkosti. Při obrábění se nástrojová elektroda

automaticky posouvá a udržuje nastavenou hodnotu mezery. Do obrobku je kopírován tvar elektrody, která se při tomto procesu částečně opotřebovává. Kvalita obrobeného povrchu, stejně jako produktivita obrábění, závisí na frekvenci a energii výboje. [4]



Obr.7 Konfigurace elektrody při hloubení [4]

Proces elektrojiskrového hloubení začíná přibližováním pracovní elektrody k obrobku. Po přeskočení jiskry je z obráběného materiálu odstraněna malá část roztaveného materiálu. Jak nástroj pomalu klesá, přeskakuje jedna jiskra za druhou. Kvůli zlepšení účinku jiskry a usnadnění odstraňování částecek materiálu z pracovního místa, je nástrojová elektroda ochlazována. [4]

Při elektrojiskrovém obrábění dochází k rychlému opotřebování nástroje. Proto se na vyhloubení otvoru používá více elektrod. Na hrubování otvoru se nejčastěji používají delší elektrody. Dokončování a kalibrace se provádí nepoškozenou částí elektrody. Aby byl povrch co nejjemnější, je třeba volit malou kapacitu. I přesto bude vytvořený otvor vždy větší jako mezera mezi nástrojem a obrobkem. [4]

2.1.1 Materiály nástrojových elektrod

Materiály používané pro výrobu nástrojových elektrod jsou měď, wolfram, mosaz a grafit. Nejvíce rozšířeným materiálem je grafit, který se využívá k opracování oceli. Jeho výhodou je dobrá obrobitelnost a vysoká teplota tavení, okolo 3000 °C. Nevýhodou jsou zplodiny vznikající při opotřebování elektrody, které znečišťují zařízení. [4]

Materiál, který je odolný proti erozivnímu opotřebování, je měď. Proto je jeho použití hospodárné. Nejlépe se hodí pro obrábění karbidů. Použití mědi se také doporučuje při dokončování povrchu s průměrnou aritmetickou úchylkou profilu Ra pod 0,5 μm. [4]

Mosaz patří mezi dobře obrobitelné materiály, které jsou vhodné na výrobu elektrod. Ve srovnání s měděnými a grafitovými elektrodami se ale rychleji opotřebovávají. Mosaz se využívá u metod, kde opotřebování výrazně neovlivňuje rozměrovou přesnost. Například pro vrtání, nebo hloubení úzkých otvorů. [4]

Elektrody vyrobené pouze z wolframu se používají pro hloubení velmi malých otvorů s průměrem do 0,2 mm. Materiálové kompozice, jako měď - wolfram a stříbro - wolfram, se používají pro jemné práce v nepříznivých podmínkách proudění dielektrické kapaliny, nebo pro hloubení úzkých drážek a otvorů. Nevýhodou wolframových elektrod je jejich cena, která je v porovnání s měděnou elektrodou 18 až 100 krát vyšší. [4]

2.1.2 Opotřebení nástrojových elektrod

Jedním z hlavních faktorů ovlivňujících ekonomické hledisko je opotřebení nástrojových elektrod. Na počátku používání elektrojiskrového obrábění se pohybovalo opotřebení elektrody mezi 40 a 60 % z celkového objemu. V současné době se na moderních strojích dosahuje opotřebení menšího jako 1 %. K optimální velikosti opotřebení nástrojové elektrody přispívá správná volba materiálu nástroje i obrobku. Například, pokud se bude měděnou elektrodou obrábět kalená ocel, opotřebení elektrody bude dosahovat 30 % z úbytku materiálu, ale při obrábění slinutého karbidu bude opotřebení dosahovat až 80 %. [4]

Mezi technologie elektrojiskrového obrábění patří také metoda označená jako elektroimpulzové obrábění. Při obrábění touto metodou dochází k úbytku nástrojové elektrody o méně než 1 %. K nejmenšímu opotřebení elektrody dochází při obrábění oceli grafitickou elektrodou. [4]

Fyzikální vlastnosti nástrojového materiálu určují odolnost materiálu proti opotřebení. Aby byla odolnost proti opotřebení co nejvyšší, musí mít materiál vysoký bod tavení, Youngův modul pružnosti, tepelnou roztažnost a Poissonovo číslo. Koeficient lineární tepelné roztažnosti musí být na druhou stranu co nejnižší. Pro vybrané materiály nástrojových elektrod jsou fyzikální vlastnosti vypsány v tabulce 2. [4]

Tab. 2 Fyzikální vlastnosti vybraných materiálu pro nástrojové elektrody [4].

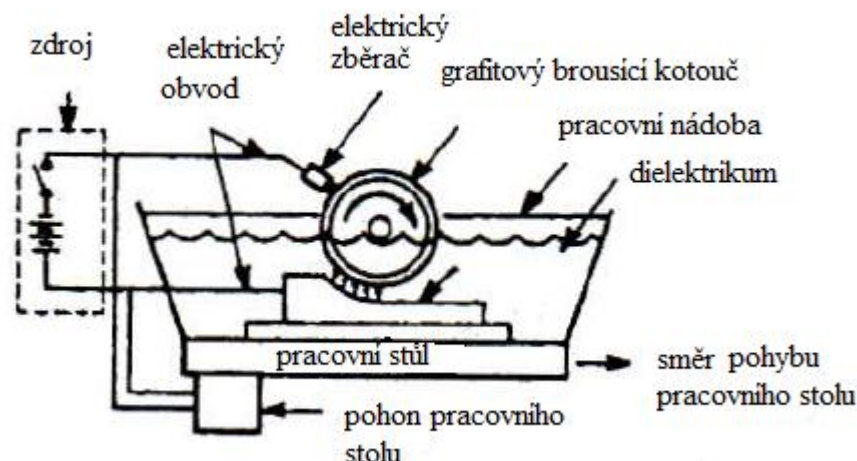
Materiál	Bod tavení [°C]	Bod varu [°C]	Tepelná vodivost (Ag=100%)	Elektrická vodivost (Ag=100%)	Pevnost [N·mm ⁻²]	Modul pružnosti [N·mm ⁻² · 10 ⁻³]
Grafit	≈ 3 000	> 4 000	30,3	0,1	34	5,9
Měď	1 083	2 580	94,3	96,5	241	124
Wolfram	3 390	> 5 930	29,6	48,1	41,3	351
Železo	1535	> 2 800	16,2	16,2	275	186

2.1.3 Elektrojiskrové broušení

Elektrojiskrové broušení je jednou z mnoha odvětví elektrojiskrového obrábění. Pro úběr materiálu se také využívá princip elektrojiskrového obrábění, nástrojovou elektrodou je ale rotující kotouč vyrobený z grafitu, nebo z mosazi. Obrobek, který je ponořen v dielektriku, je zapojený na kladný pól. Pomocí servomotoru se posouvá k rotujícímu kotouči, který je záporně nabitý. V mezeře mezi nástrojem a obrobkem vznikají elektrické výboje, které slouží k úběru materiálu. Mezera mezi nástrojem a obrobkem je 0,013 - 0,08 mm. Rotující kotouč není v přímém kontaktu s obrobkem. [4]

Druh dielektrické kapaliny a zdroj elektrického napětí je stejný jako u předchozích metod. Napětí se pohybuje v rozmezí od 30 do 400 V, proud okolo 100 A, frekvence elektrického impulsu se pohybuje v rozsahu 0,2 - 260 kHz. [4]

Nízko pórovitý materiál používaný k výrobě kotoučů je grafit. Pro řezání velmi tenkých materiálu, nebo při malém proudění materiálu, se však používá mosaz. Výhodou těchto kotoučů je nenáročné ořovnávání pomocí ořovnávacích zařízení z rychlořezné oceli. To se provádět po hrubování, broušení na čisto a po jemném dokončování pomocí broušení. Nástrojové kotouče rotují rychlostí 30 - 180 m·min⁻¹. [4]

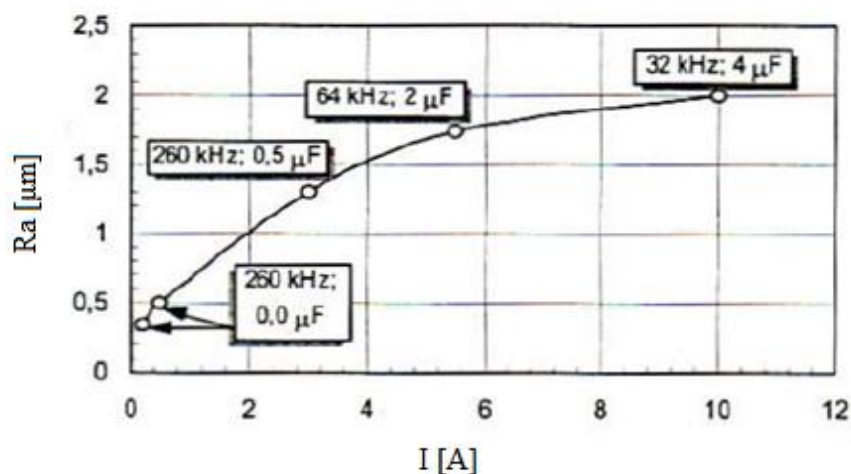


Obr.8 Princip elektrojiskrového broušení [4]

Velikost opotřebení nástroje je závislá na materiálu nástroje a obrobku, proudové hustotě a dielektrické kapalině. Při elektrojiskrovém broušení se udává poměr úběru materiálu ku opotřebení kotouče. Tato hodnota se pohybuje ve velmi širokém intervalu, obvykle od 100:1 do 0,1:1. Průměrná hodnota úběru materiálu ku opotřebení kotouče je asi 3:1. [4]

Rychlost úběru materiálu je závislá na velikosti protékajícího proudu. Se zvětšujícím se proudem rychlost úběru materiálu roste. To ale způsobuje, že obrobený povrch je drsnější. Pro dosažení jemného opracování povrchu s vyšší přesností je nutné použít nižší proud v obvodu. Rychlost řezání lze zvyšovat pomocí zvyšování kapacity. Závislost hodnoty R_a povrchu na velikosti proudu je zobrazena na obr. 10. V běžných podmínkách lze pomocí elektrojiskrového broušení dosahovat průměrné aritmetické úchytky profilu okolo $R_a=0,25 \mu\text{m}$. [4]

Technologie elektrojiskrového broušení se využívá pro obrábění se zvýšenou přesností povrchu. Rozměrová tolerance se pohybuje okolo $\pm 0,005 \text{ mm}$. V případech s velmi malým úběrem materiálu však lze dosáhnout i přesnosti $\pm 0,001 \text{ mm}$. Úběry dosahované touto technologií jsou malé, pohybují se v rozsahu $160 - 2\,500 \text{ mm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. [4]



Obr.9 Účinek provozních parametrů na drsnost povrchu při elektrojiskrovém broušení spékáných karbidů (napětí: 60V, dielektrikum: petrolej, teplota dielektrika 38 °C, materiál kotouče: grafit) [4]

Technologie elektrojiskrového broušení má mnoho využití. Například broušení vysokopevných ocelí a karbidů, broušení křehkých a lámavých materiálů, tvarové broušení materiálů, při kterém je použito diamantového kotouče velice nákladné, broušení a dělení tenkých materiálů, při kterém by za použití rozbrušování docházelo k deformacím. Nejčastěji se však využívá pro broušení tvarových nástrojů ze slinutých karbidů, ale také pro broušení kalených ocelí. Na druhou stranu se tato technologie nehodí pro broušení obrobků z litiny, protože vměstky písku mohou poškozovat grafitový brousící kotouč. [4]

2.2 Vysokorychlostní obrábění - High speed cutting (HSC)

Vysokorychlostní obrábění se od konvenčního liší průřezem třísky, řeznou rychlostí, která je 5 až 10 krát vyšší, a tím, že je vřeteno stroje zatěžováno převážně axiálními silami. Pro každý obráběný materiál se však liší tzv. hranice vysoké rychlosti. Ta je ovlivněna geometrií břitu, druhem řezného nástroje a konstrukčním provedením nástroje. [5]

Vysokorychlostní obrábění se používá hlavně kvůli zvýšení výkonu, zlepšení kvality povrchu obráběného materiálu a zvýšení životnosti nástroje. Vyznačuje se menší tepelně ovlivněnou vrstvou, menšími působícími silami a vyššími otáčkami při malé hloubce řezu. [5]

To že je tepelně ovlivněná vrstva menší než u konvenčního obrábění je způsobeno rychlostí odchodu třísek z místa řezu. Při tvorbě třísky je materiál zahříván na teplotu blízkou teplotě tavení materiálu. To znamená že při obrábění oceli je teplota třísky přibližně 1500 °C. Protože ale z místa řezu odchází vysokou rychlostí, nestačí předat teplo nástroji, nebo obrobku. Díky tomu většina tepla odchází společně s třískou. Menší tepelně ovlivněná vrstva způsobuje zlepšení tvarové a rozměrové přesnosti obráběného povrchu. Také se zlepší jakost a celková integrita povrchu, což může minimalizovat anebo zcela odstranit dokončovací operace. Zmenší se také velikost opotřebení nástroje. To je způsobeno odpevňovacími ději v obráběném materiálu, které převažují nad ději zpevňovacími. [5]

2.2.1 Mechanismus tvorby třísky

Při vysokorychlostním obrábění se mechanismus tvorby třísky výrazně liší od mechanismu tvorby u konvenčních metod. Proces oddělování třísky je závislý hlavně na fyzikálních vlastnostech obráběného materiálu, které jsou spojeny s podmínkami plastické deformace. Aby byla oblast plastické deformace co nejmenší, je nutné zvyšovat řeznou rychlost. Pokud je tato oblast dostatečně malá, dochází ke vzniku třísky plastickým skluzem v rovině stříhu. [5]

Výpočet řezné síly F_S se provádí pomocí následujícího vztahu [5]:

$$F_S = \frac{\tau_K \cdot h_D \cdot b}{\sin \Phi} = F \cdot \cos \varphi \quad [N] \quad (2.1)$$

Kde: τ_Kstřední kritické kluzové napětí obráběného materiálu [MPa],

b.....šířka třísky [mm],

Φúhel směru maximálních tečných napětí [°].

Z rovnice 2.1 je možné vyjádřit rovnici pro sílu F . Ta označuje sílu, kterou nástroj působí na odřezávanou vrstvu materiálu [5]:

$$F = \frac{\tau_K \cdot h_D \cdot b}{\sin \Phi \cdot \cos \theta} = \frac{\tau_K \cdot h_D \cdot b}{\sin \varphi \cdot \cos(\varphi + \delta + \Phi - 90^\circ)} \quad [N] \quad (2.2)$$

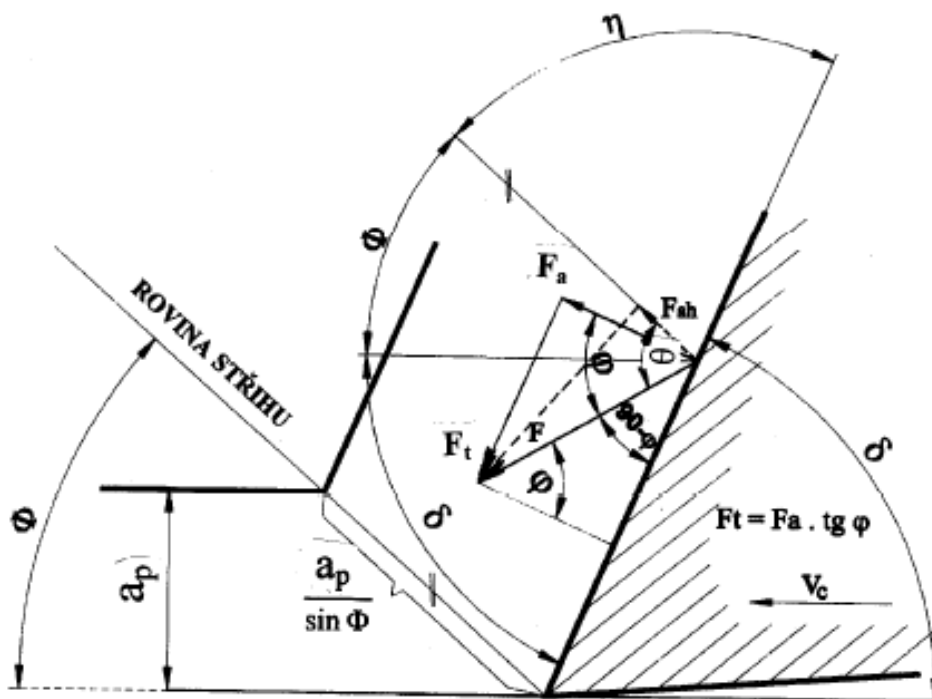
Kde: φ ...úhel tření $[\circ]$,

δúhel řezu $[\circ]$.

Úhel střižné roviny je dána vztahem:

$$\Phi = 90^\circ - \frac{(\varphi + \delta)}{2} \quad [^\circ] \quad (2.3)$$

Jak je vidět v rovnici 2.3, úhel střižné roviny je závislý hlavně na úhlu tření a úhlu řezu. Je ale také ovlivněn řeznými podmínkami, které mají vliv na velikost úhlu φ . [5]



Obr.10 Průběh tvorby třísky v rovině stříhu [5]

2.2.2 Řezné podmínky HSC

Podmínky, při kterých se dá hovořit o vysokorychlostním obrábění, je těžké stanovit. Účinky související s vysokorychlostním obráběním jsou náhlé změknutí třísky a pokles řezné síly. Ten je způsoben v závislosti na změknutí třísky. Nejefektivnější způsob práce je při nejvyšších výkonech stroje, při kterých dosahují hodnoty krouticího momentu a výkonu maximálních hodnot. Pro svůj velký výkon je tento způsob vhodný převážně pro hrubování. Pro obrábění načisto je možné pracovat pomocí nástrojů s malým průměrem. Pro dosažení odpovídajících podmínek je totiž při obrábění načisto potřeba vyšších otáček a nižších krouticích momentů a výkonu. [5]

2.2.3. Stroje a nástroje HSC

Stroje používané pro vysokorychlostní obrábění se od strojů používaných pro konvenční obrábění liší tím, že mají větší výkon a produktivitu. To je způsobeno speciální konstrukcí vřetena, které je namáháno převážně axiálně. Mezi technologické požadavky, které jsou od strojů pro vysokorychlostní obrábění vyžadovány, patří snížení výrobních časů, slučování operací a zvýšení úběru materiálu. [5]



Obr. 11 CNC vysokorychlostní horizontální centrum HS4000 [6]

Hlavní požadavky kladené na nástroje pro vysokorychlostní obrábění jsou tvrdost povrchu, odolnost proti chemickému opotřebení a vysoká houževnatost. Díky těmto vlastnostem se předchází ulomení nástroje a snižuje se opotřebení. Proto je důležité aby si nástroj zachovával tyto vlastnosti i při těžkých podmínkách a vysokých teplotách řezného procesu. Materiál řezného nástroje musí mít větší tvrdost v rozsahu potřebných pracovních teplot, než materiál obráběný. Toho se dosahuje hlavně využitím povlakovaných karbidů, cermetů a řezné keramiky. Pro obrábění litin a kalené oceli se převážně používá kubický nitrid boru. Ten se také využívá pro vysokorychlostní broušení, kde společně s keramickým pojivem tvoří brousící kotouč. [5]



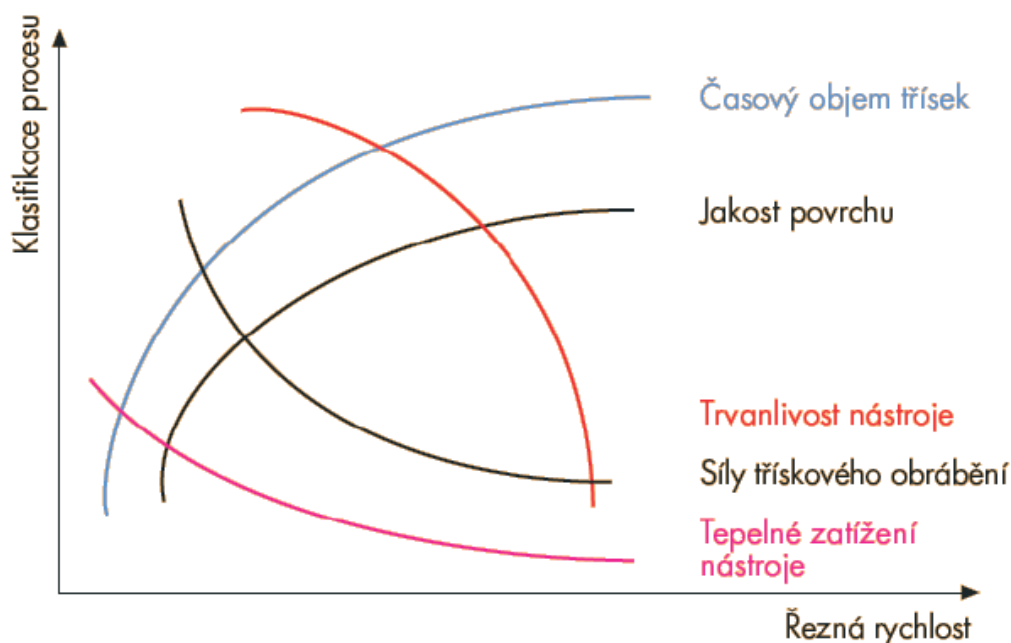
Obr. 12 Břitové destičky pro vysokorychlostní obrábění [7, 8]

2.2.4 Výhody, použití a přínosy HSC

Hlavní výhodou vysokorychlostního obrábění je zvýšení posuvové rychlosti, díky které se zkracují obráběcí časy. Mezi další výhody patří vysoká kvalita povrchu, přesnost obrábění, pokles řezných sil, odvod vzniklého tepla a možnost obrábění bez chlazení. [5]

Vysokorychlostní obrábění je vhodné pro výrobu zápustek, forem a prostorově složitých povrchů. Mezi nejpoužívanější operace patří soustružení a frézování malými průměry. Vysokorychlostní obrábění se používá pro obrábění litiny a tvrdých materiálů, o tvrdosti kolem 60 HRC. Využívá se také pro obrábění lehkých kovů a jejich slitin. [5]

Přínosem této technologie obrábění je snížení výrobních časů a nákladů. To je způsobeno hlavně vysokými pracovními režimy. Důležité vlivy HSC obrábění na jednotlivé vlastnosti jsou zobrazeny na obr. 14. [5]



Obr. 13 Vliv HSC obrábění na proces třískového obrábění [5]

2.2.5 Nevýhody HSC obrábění

Obrábění technologií HSC má také svoje nevýhody. Mezi hlavní lze uvést vysoké provozní a investiční náklady a nákladné zajištění bezpečnosti obsluhy obráběcích center. Další nevýhodou je malé množství ověřených dat pro jednotlivé materiály při vysokorychlostním obrábění. [9]

3 NÁVRH OPTIMALIZACE ŘEŠENÍ NA STÁVAJÍCÍM STROJOVÉM PARKU

V současnosti se ve firmě P-D Refractories CZ a.s. pro dokončování výroby kalených záložek využívá broušení. Jak bylo uvedeno dříve, broušení probíhá na rovinných horizontálních nebo vertikálních bruskách. Základy technologie broušení jsou popsány v příloze 1.

3.1 Vhodnost metod

V následujících podkapitolách bude rozebrána vhodnost jednotlivých technologií pro náhradu broušení ve firmě. Technologie jsou posuzovány podle vhodnosti uplatnění ve firmě a schopnosti obrábět materiál do tvrdosti až 65 HRC.

3.1.1 Elektrojiskrové hloubení

Technologií elektrojiskrového hloubení lze obrábět materiály s tvrdostí 65 HRC. V současné době ale firma P-D Refractories CZ a.s. nedisponuje stroji, které jsou pro tuto technologii potřebné. Navíc při obrábění kalené oceli, na které se nejvíce využívá měděná elektroda, dosahuje opotřebení nástrojové elektrody až 30 % z úbytku materiálu obrobku. Na obrobení rovinné záložky, o větších rozměrech, by se tedy nástrojová elektroda značně opotřebovala. Kvůli těmto faktům je tato technologie pro firmu nevhodná. [4]

3.1.2 Elektrojiskrové broušení

Stejně jako pro elektrojiskrové hloubení, ani pro technologii elektrojiskrového broušení není v současnosti ve firmě vhodný stroj. Další z nevýhod je také opotřebení grafitového brousícího kotouče, který se pro tuto technologii používá. Jak už bylo uvedeno v kapitole 2.1.3, průměrný poměr mezi úběrem materiálu a opotřebením kotouče je 3:1. Pro úběr přídatku po kalení by tedy docházelo k velkému opotřebením kotouče. Přestože je technologií elektrojiskrového broušení možné obrábět materiály o tvrdosti 65 HRC, je tato technologie pro firmu také nevhodná. [4]

3.1.3 Vysokorychlostní obrábění - HSC

Parametry stroje, který je potřebný pro HSC obrábění, jsou uvedeny v tabulce 3. Firma v současnosti vlastní jeden stroj, který splňuje požadované parametry. Proto je možné ve firmě technologii HSC uplatnit.

Tab. 3 Typické parametry HSC strojů střední velikosti [10].

Otáčky vřetene [min^{-1}]	Výkon vřetene	Rychlost pracovních posuvů	Úběr třísky
10 000 - 80 000	15 - 60 kW	$10\text{-}40 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$	$0,64 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$

Pro obrábění kalených materiálů s tvrdostí od 43 do 70 HRC lze využít řeznou keramiku. Výhodou řezné keramiky je její tvrdost, která je vysoká i za tepla. Mezi další výhody patří dlouhá trvanlivost břitu, možnost použití při vysokých řezných rychlostech, a to že chemicky nereagují s materiálem obrobku. Řezná keramika se používá k obrábění kalené oceli, tvrzené litiny, povrchově kalených obrobků a těžkoobrobitelných materiálů. [11]

Pro obrábění kalených ocelí je vhodné využít řeznou keramiku na bázi oxidu hlinitého, i když nemá tak vysokou pevnost, houževnatost ani tepelnou vodivost jako

slinuté karbidy. Používají se keramické nástrojové destičky, které jsou v nástrojovém držáku upnuty mechanicky, pomocí šroubu a upínky. Průměry fréz se pohybují v rozmezí 32 - 262 mm. [11]



Obr.14 Typová řada nástrojů firmy Hofmeister [11]

S použitím řezné keramiky lze obrábět tvarové i rovinné plochy, osazení i vybrání. Průměrná aritmetická odchylka obrobené plochy bez použití procesní kapaliny je až $Ra\ 0,2\ \mu m$. [11]

Druhým materiálem vhodným k obrábění kalené oceli do tvrdosti 65 HRC je kubický nitrid boru (CBN) Wurbon. Při použití tohoto materiálu se obrábí nasucho, kvůli odstranění teplotních šoků, při kterých dochází ke vzniku trhlin. Při srovnání s řeznou keramikou má tento materiál vyšší tvrdost a houževnatost. [5, 12, 13]

Vlastnosti nástrojů z CBN jsou závislé na složení, převážně na druhu pojiva, procentu CBN a na struktuře nástroje. Vhodnost použití jednotlivých typů Wurbonu se liší podle vlastností nástroje. Pro obrábění kalených ocelí do tvrdosti 65 HRC je vhodné použít druhy s 50 - 60 % CBN (WBN600 a WBN650). Tento druh je vhodný při obrábění nástrojové oceli, žáruvzdorné a mrazuvzdorné oceli, ložiskových tělísek a již zmíněné kalené oceli. [13]

K obrábění kalené oceli se také používají druhy Wurbonu s obsahem CBN 80 – 90 % (WBN100 a WBN750). Vyznačují se velkou ořezuvzdorností a houževnatostí. Pro obrábění kalené oceli se využívají při velkých přídavicích na obrábění. Tento druh Wurbonu lze opatřit jako masivní řezné destičky z plného materiálu. [13]



Obr.15 Břitové destičky [14]

Díky tomu že firma disponuje vhodným strojem a lze opatřit břitové destičky, které jsou vhodné pro obrábění kalených ocelí do 65 HRC je technologie vysokorychlostního obrábění vhodná.

4 SESTAVENÍ TECHNOLOGIE S TVP DOKUMENTACÍ

Technologie, která je podle požadovaných kritérií nejvíce vhodná pro dokončovací obrábění záložek, je vysokorychlostní obrábění. Tato technologie by měla nahradit časově náročné broušení. Strojem, umožňujícím využít této technologie, firma v současnosti disponuje. Jediným problémem jsou nástroje, vhodné pro tuto technologii. Kvůli snadné údržbě nástroje, je volena fréza s výměnnými břitovými destičkami. Ty, jak už bylo vedeno v kapitole 3.1.3, by měly být vyrobeny z řezné keramiky, nebo z CBN. Protože pro nástroje z řezné keramiky je jen velice málo uvedených řezných podmínek v katalogích výrobců výměnných břitových destiček, jsou pro výrobu zvoleny destičky z CBN. Tyto destičky zaručují schopnost obrábět materiál do tvrdosti 65 HRC, což je maximální tvrdost objemově kalené záložky.

Pro novou technologii je nutné sestavit nový technologický postup. Ten se však od původního nebude výrazně lišit. To je způsobeno tím, že je změněna pouze dokončovací operace.

Protože se ve firmě P-D Refractories CZ a.s. vyrábí velké množství tvarů záložek, je uvedený postup pouze orientační. Nový postup je uveden v tabulce 4.

Tab. 4 Technologický postup

Číslo operace	Stroj Tř. číslo	Popis práce v operaci
1/6	Pila SL 520 05967	Upnutí kované tyče Řezání polotovaru s přídavkem na obrábění
2/6	Frézka speciální FGSV 50 35326	Upnutí polotovaru za rozměr 305 Čelní frézování s přídavkem na dokončování Obvodové frézování hran záložky s přídavkem na obrábění
3/6	Rýsovací posuvné měřítko, důlčík 09412	Orýsování polotovaru
4/6	Vrtačka VO 50 04614	Upnutí polotovaru Vrtání děr pro šrouby
5/6	Kooperace 81628	Kalení na tvrdost 65 HRC
6/6	Frézka speciální FGSV 50, doplněná o zrychlovací hlavici 35326	Upnutí polotovaru za rozměr 300,5 Frézování na hotovo

5 TECHNICKO -EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Pro porovnání metod je použita objemově kalená deska z nástrojové oceli EN 1.2436 o rozměrech 300×300 mm. Velikost přídavku, který se na záložce nechává před objemovým kalením, je 0,3 mm. Při kalení však dochází k deformaci záložky, proto je nutné obrobit záložku o 0,3 - 0,5 mm. Tvrdost materiálu po objemovém kalení je 60 - 65 HRC.

5.1 Broušení

V současnosti firma P-D Refractories CZ a.s. disponuje šesti bruskami, které slouží pro dokončovací obrábění kalených záložek. Pro broušení se používají brousicí kotouče o průměru 350 mm. Šířka brousicího kotouče se liší podle typu operace a tvaru záložky. Pohybuje se v rozmezí od 20 do 63 mm. Jako materiál brousících kotoučů se používá mikrokrystalický korund, který se vyznačuje dobrou životností a samoostřicí schopností. Používají se kotouče s tvrdostí J nebo H a hrubostí 54 a 46.

Broušení objemově kalené desky o rozměrech 300×300 o přídavek 0,5 mm trvá ve firmě 2 hodiny. Přičemž úběr materiálu se provádí po hloubce třísky 0,01 až 0,02 mm. Trvanlivost brousicího kotouče při dvousměnném provozu je 10 pracovních dní. Tyto hodnoty byly ve firmě experimentálně naměřeny. Během těchto 10 dní je nutné nástroje orovnávat. K tomu se používají diamantové orovnávače, sloužící pro orovnávání jak rovinných, tak tvarových ploch. Orovnávače, které se ve firmě používají, jsou jedno karátové ve tvaru jehlanu, nebo stříšky.



Obr. 16 Korundové brousicí kotouče [15]

5.1.1 Náklady na broušení

Ve firmě je zavedena sazba stroje, ve které jsou již zahrnuty náklady na pracovníka. U brusky jsou náklady na hodinu 648 Kč. Pro obrábění záložky o velikosti 300×300 mm jsou tedy náklady rovny 1296 Kč.

5.2 Vysokorychlostní obrábění

Pro výpočet jsou použité břitové destičky WBN 100. Řezné parametry vhodné pro frézování tvrdých materiálů jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5 Řezné parametry břitových destiček WBN 100 pro frézování tvrdých materiálů [14].

řezná rychlost v_c	80 - 400 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
posuv na zub f_z	0,05 - 0,15 mm
šířka záběru ostří a_p	0,2 - 0,5 mm

Pro obrábění je zvolena fréza s výměnnými břitovými destičkami o průměru 20 mm se dvěma zuby.



Obr.17 Fréza Quadworks a Trigaworks [16]

5.2.1 Použité vztahy

Pro výpočet strojního času, jsou použity následující vztahy. [17]

Otáčky:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} [\text{min}^{-1}] \quad (5.1)$$

kde: v_c řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$],

Dprůměr nástroje [mm],

n otáčky nástroje [min^{-1}].

Jednotkový strojní čas pro frézování:

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{v_f} [\text{min}] \quad (5.2)$$

kde: L ... dráha nástroje ve směru posuvu [mm],

ipočet záběrů [-],

v_f posuvová rychlost [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$].

Hodnota L pro frézování na čisto:

$$L = l + l_n + l_p + D [\text{mm}] \quad (5.3)$$

kde: l ... délka obráběné plochy [mm],

l_ndélka náběhu [mm],

l_pdélka přeběhu [mm].

Posuv na otáčku:

$$f_n = f_z \cdot z \text{ [mm]} \quad (5.4)$$

kde: : f_n ... posuv na otáčku [mm],

f_z ...posuv na zub [mm],

zpočet zubů nástroje [-].

Posuvová rychlost:

$$v_f = f_n \cdot n \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (5.5)$$

5.2.2 Výpočet strojního času

Výpočet otáček:

$$n = \frac{400 \cdot 1000}{\pi \cdot 20} = 6366,2 \text{ min}^{-1} \rightarrow 6300 \text{ min}^{-1}$$

Výpočet hodnoty L:

$$L = (300 + 5 + 5 + 20) \cdot 17 = 5610 \text{ mm}$$

Výsledná hodnota je násobena sedmnácti, protože nástroj danou plochu obrobí na sedmáct záběrů.

Výpočet posuvu na otáčku:

$$f_n = 0,1 \cdot 2 = 0,2 \text{ mm}$$

Výpočet posuvové rychlosti:

$$v_f = 0,2 \cdot 6300 = 1260 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Výpočet jednotkového strojního času:

$$t_{AS} = \frac{5610 \cdot 2}{1260} = 8,9 \text{ min}$$

Výpočet skutečného strojního času:

$$t_{AS} = \frac{5610 \cdot 2}{1260} \cdot 1,2 = 10,69 \text{ min}$$

5.2.3 Náklady na HSC frézování

Náklady na stroj a pracovníka při HSC frézování jsou ve firmě normalizovány. Jejich hodnota je $1131 \text{ Kč} \cdot \text{h}^{-1}$. Náklady na obrobení jedné záložky o rozměrech $300 \times 300 \text{ mm}$ jsou tedy $201,5 \text{ Kč}$.

6 DISKUZE

Cílem bakalářské práce je zkrácení výrobních časů při výrobě ocelových forem ve firmě P-D Refractories CZ a.s. Nejříve bylo nutné určit kritické místo ve výrobě. Jako to se ukázalo dokončovací obrábění objemově kalených záložek. Ve firmě se toto obrábění provádí pomocí technologie broušení, která by se dala nahradit modernější a rychlejší metodou. Jako náhradní metody byly určeny tyto technologie: elektrojiskrové hloubení, elektrojiskrové broušení a vysokorychlostní obrábění. Dalším z možností úpravy byla změna materiálu záložek. V současnosti je na jejich výrobu použita nástrojová ocel EN 1.2436. Tento materiál se ale ukázal jako nejvhodnější volba, díky svým vlastnostem po zakalení.

Technologie elektrojiskrového hloubení a elektrojiskrového broušení nebyly pro podmínky firmy vyhovující. Jedním z nedostatků je velké opotřebení nástrojů při obrábění tvrdých materiálů. Dalším nedostatkem je to, že firma v současnosti nedisponuje strojním zařízením, umožňujícím dané technologie využívat. Jedinou vyhovující technologií je tedy vysokorychlostní obrábění. Proto bylo nutné porovnat tuto technologii s broušením.

Hlavním požadavkem na náhradní technologii bylo zrychlení výrobního času při dokončovacím obrábění záložky. Pomocí vysokorychlostního obrábění se výrobní čas zkrátí o 109,31 minut. Díky tomu klesly také náklady na pracovníka a provoz stroje o 1094,5 Kč na jednu záložku. Nevýhodou vysokorychlostního obrábění je ale trvanlivost nástrojů, která se většinou určuje experimentálně. Výsledky ukázkového experimentu pro určení trvanlivosti nástrojů jsou uvedeny v příloze 2. Je totiž závislá na geometrii jak frézy, tak břitových destiček a především na řezných podmínkách. Výrobci břitových destiček neuvádí v katalozích hodnoty trvanlivosti pro HSC obrábění. Další z nevýhod je cena břitových destiček. Ta je, v závislosti na výrobci 1000 Kč a vyšší.

Pro novou technologii byl také sestaven nový technologický postup. Ten se od toho původního téměř neliší. Důvodem je změna pouze dokončovací operace výroby. Ostatní části výroby zůstaly nezměněné.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce pojednává o možnostech úpravy výroby ocelových forem, přičemž se zaměřuje na kritické místo ve výrobě. Součástí práce je výpočet strojních časů a následné stanovení nákladů na výrobu. Tyto výsledky jsou dále srovnány se současnými podmínkami ve firmě.

Shrnutí dosažených poznatků:

- kritické místo ve výrobě je dokončovací obrábění záložek po objemovém kalení,
- broušení velmi tvrdých materiálů lze nahradit modernějšími metodami,
- moderní metodou nejvíce vyhovující podmínkám firmy je vysokorychlostní obrábění,
- při vysokorychlostním obrábění velmi tvrdých materiálů se používají nástroje z kubického nitridu boru, nebo z řezné keramiky,
- hodnota strojního času, při použití technologie broušení, byla experimentálně naměřena,
- čas na obrobení jedné záložky o rozměrech 300×300 mm o přídavek 0,5 mm by se při použití vysokorychlostního frézování zkrátil na 10,69 min,
- díky zrychlení výrobního času by náklady na výrobu jedné záložky klesly na 201,5 Kč,
- nedostatkem vysokorychlostního obrábění je malé množství ověřených dat pro jednotlivé materiály,
- cena výměnných břitových destiček z kubického nitridu boru je vysoká.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] P-D Refractories CZ a.s., [online]. 2009 [vid. 2015-02-26]. Dostupné z: <http://www.pd-refractories.cz/>
- [2] KYNCL, Jiří. *Návrh standardizace konstrukčních prvků lisovacích nástrojů*. Praha, 2011/2012. [vid. 2015-03-3]. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze
- [3] Preciz, s.r.o., [online]. 2012 [vid. 2015-03-20]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.2436>.
- [4] MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne technológie: Advanced methods of material removal*. 1. vyd. Košice: Viena, 2000, viii, 275 s. ISBN 80-7099-430-4
- [5] BUKÁČEK, Zdeněk. *Technologie obrábění tvrdých materiálů nástroji s definovanou geometrií břitu*. Brno, 2009. [vid. 2015-03-29]. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.
- [6] Profika.cz, [online]. 2015 [vid. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.profika.cz/cnc-stroje/vysokorychlostni-centra>
- [7] HEBLER, Violeta. *Řezné nástroje pro náročné obráběcí operace*. MM Průmyslové spektrum [online]. 2015 [vid.2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/rezne-nastroje-pro-narocne-obrabeci-operace.html>
- [8] SECO TOOLS. *Highfeed 2 & 4* [online]. 2015 [vid. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.secotools.com/cs/Global/Products/Milling/Highfeed-Milling/Highfeed2/>
- [9] PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
- [10] VOJÁČEK, Zdeněk. *Výrobní technologie HSC* [online]. Střední průmyslová škola Sokolská. 2013 [vid. 2015-04-24]. Dostupné z: http://spssbrno-sokolska.jakubsvestka.cz/files/nas_DROPBOX/STT/Ro%EDk%201%20-%204,%20kompletn%ED%20skripta%20-%20z%20nich%20u%ED%20Ing.%20Zden%ECk%20Voj%E1%E8ek/R3/HS-C%20technologie.pdf
- [11] ŠKABRAHA, Stanislav. *Obrábění kalených materiálů řeznou keramikou*. MM Průmyslové spektrum [online]. 2008 [vid. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-kalenyh-materialu-reznou-keramikou.html>
- [12] SPŠOA Uherský Brod. *Progresivní výrobní procesy ve výrobní praxi - obráběcí stroje a nástroje* [online]. Střední průmyslová škola a obchodní akademie Uherský Brod [vid. 2015-05-01]. Dostupné z: http://int.spsoa-ub.cz/ccv/projekty/vzdelavanipedagogu/dokumenty/skripta/skripta_vp_16.pdf
- [13] *Řezná keramika a kubický nitrid boru*. MM Průmyslové spektrum [online]. 2003 [vid 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/rezna-keramika-a-kubicky-nitrid-boru.html>

- [14] Ceram Tec, *WBN 100* [online]. 2014 [vid. 2015-05-09]. Dostupné z: <https://www.ceramtec.com/spk-cutting-materials/wbn-100/>
- [15] DIA Praha. *Broušení* [online]. 2014 [vid. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.diapraha.cz/brousici-nastroje>
- [16] JANOŮŠEK, Vladimír. *Katalog nástrojů, nebo příručka pro obrábění? MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007 [vid. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/katalog-nastroju-nebo-prirucka-pro-obrabeni.html>
- [17] HUMÁR, Anton. *Technologie I - Technologie obrábění - I. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie. 2003. [vid. 2015-05-16]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [18] ČEP, Robert. *Technologie II 2 díl* [online]. 2008 [vid. 2015-05-17]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf
- [19] SU, Honghuan, Peng LIU, Yucan FU a Jiuhua XU. *Tool Life and Surface Integrity in High-speed Milling of Titanium Alloy TA15 with PCD/PCBN Tools* [online]. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics. 2011. [vid. 2015-05-20]. Dostupné z: http://ac.els-cdn.com/S1000936111604457/1-s2.0-S1000936111604457-main.pdf?_tid=aae9caa4-0079-11e5-86c4-00000aab0f6b&acdnat=1432296006_b0b8246ab626084194e330d369b7aac2

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CBN	[-]	kubický nitrid boru
HRC	[-]	tvrdost dle Rockwella
HSC	[-]	high speed cutting
PCB	[-]	polykrystalický diamant
TPV	[-]	technická příprava výroby

Symbol	Jednotka	Popis
D	[mm]	průměr
F	[N]	síla na odřezávanou vrstvu materiálu
F_s	[N]	řezná síla
L	[mm]	řezná délka
R_a	[μm]	průměrná aritmetická odchylka plochy
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
b	[mm]	šířka třísky
f_n	[mm]	posuv na otáčku
f_z	[mm]	posuv na zub
i	[-]	počet záběrů
l	[mm]	délka obráběné plochy
l_n	[mm]	délka náběhu
l_p	[mm]	délka přeběhu
n	[min^{-1}]	otáčky
t_{as}	[min]	jednotkový strojní čas
v_c	[$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	řezná rychlost
v_f	[$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]	posuvová rychlost
z	[-]	počet zubů

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1

Broušení

Příloha 2

Experiment k určení trvanlivosti nástroje

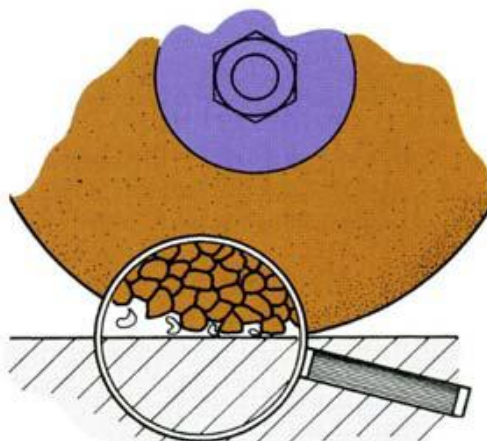
PŘÍLOHA 1 (1/3)

Broušení

Broušení je jednou z hlavních metod, sloužících pro dokončovací operace. Největší výhodou této operace je vysoká přesnost, správnost geometrických tvarů a malá průměrná aritmetická odchylka povrchu obrobené plochy. Broušení patří mezi abrazivní metody obrábění, kdy k úběru materiálu slouží nástroj s nedefinovanou řeznou geometrií břitu. Jako nástroj slouží brousicí kotouč, který se skládá z abrazivních zrn spojených pojivem. Pomocí broušení je možné obrábět velmi tvrdé materiály, jako je kalená ocel nebo slinuté karbidy. Lze jím také obrábět velké plochy. K tomu se nejlépe hodí čelní rovinné broušení. Velikost obrobené plochy za jednotku času dokazuje, že broušení patří mezi velmi produktivní technologie. [18]

Charakteristické znaky broušení

Charakteristickou vlastností brousicího procesu je tzv. samoostření brousicího kotouče. To je způsobeno uvolňováním a následným vypadáváním jednotlivých zrn, nebo jejich částí. K uvolňování zrn dochází kvůli neschopnosti zrn přenášet velké řezné síly. Dalším charakteristickým znakem je úběr nepravidelné třísky. K tomu dochází kvůli nepravidelnému rozmístění zrn v brousicím kotouči (obr. 13). [18]



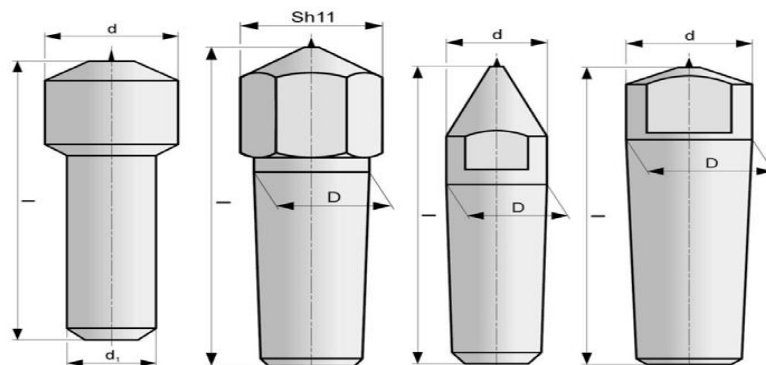
Obr. 13 Úběr nepravidelné třísky [18]

Třísky, vznikající při broušení, mají proměnlivý a malý průřez (asi 10^{-3} mm^2). Během obrábění dochází k roztavení a hoření některých třísek, což je způsobeno vlivem tření a vysokých plastických deformací. Kvůli těmto vlivům může teplota vyšplhat až na 1500°C . Při broušení působí velké měrné řezné síly, které mohou dosahovat až několika desítek tisíc MPa. Doba záběru jednotlivých zrn je krátká, což je způsobeno přerušovaným řezem a vysokou řeznou rychlostí ($30\text{--}100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). [18]

Aby během broušení nedocházelo k oduhličování povrchu obrobku vlivem tepla, je nutné chladit nástroj i obrobek. Oduhličení povrchu má negativní vliv na povrch obrobku, např. vznik trhlin, změnu struktury a vznik tahových napětí v povrchové vrstvě obrobku. Během broušení dochází ke ztrátě řezivosti v důsledku otupování řezných zrn a zanášení pórů třískami. Pro obnovení řezivosti je nutné použít orovnávače. Ty mohou být jednokamenné, vícekamenové, ploché, nebo tvarové. [18]

PŘÍLOHA 1 (2/3)

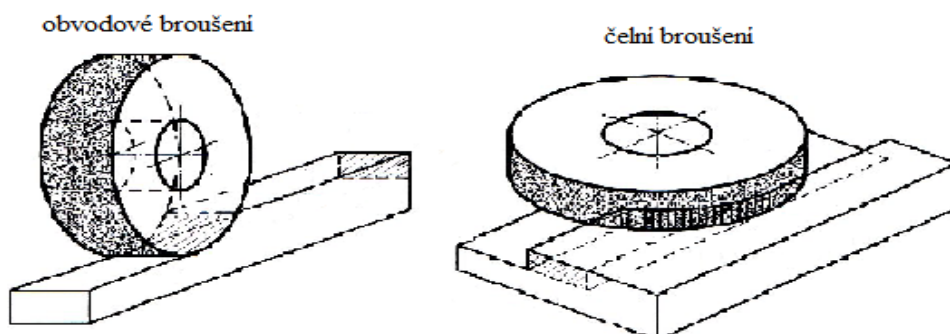
Broušení



Obr.14 Jednokamenové orovnávače [18]

Rozdělení broušení

Broušení lze rozdělit podle různých kritérií. Prvním z nich je rozdělení podle aktivní části brousicího kotouče, na obvodové a čelní broušení. [18]



Obr.15 Rozdělení dle aktivní části brousicího kotouče [18]

Druhé kritérium podle kterého lze broušení rozdělit je podle hlavního pohybu posuvu stolu vzhledem k nástroji. Dělí se do pěti skupin a to na axiální broušení, radiální broušení, tangenciální broušení, obvodové broušení a čelní zapichovací broušení. [18]

Brousicí nástroje

Brousicí nástroje jsou složeny ze tří prvků. Zrn, pórů a pojiva. Jako řezný nástroj slouží zrna, přičemž póry zastávají funkci zubových mezer. Vše je spojeno pomocí pojiva tak, že celek tvoří pevné těleso. Brousicí nástroje se dají rozdělit podle geometrického tvaru. Dělíme je na kotouče, segmenty a kameny. Lze je také rozdělovat podle druhu brousicího materiálu, zrnitosti brusiva, tvrdosti nástroje, struktury nástroje a druhu pojiva. [18]

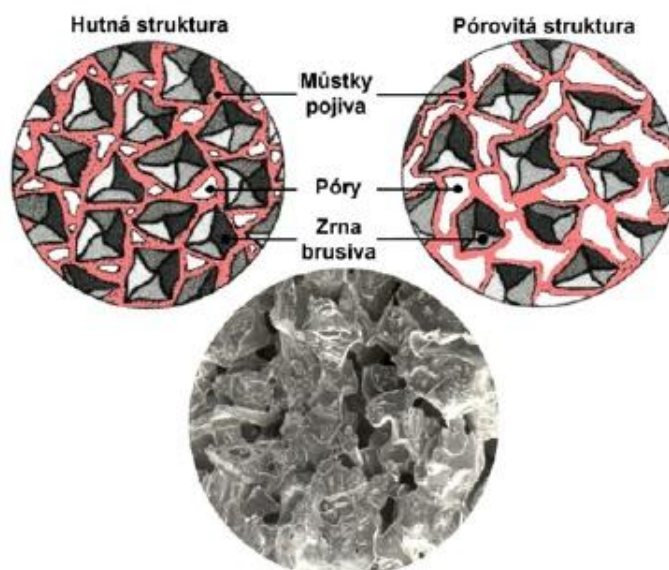
K výrobě brusných kotoučů se používají přírodní nebo syntetické brousicí materiály. Nejčastěji používanými materiály jsou Al_2O_3 (umělý korund) a SiC (karborundum). Umělý korund se hodí převážně k broušení oceli, oceli na odlitky, temperované litiny a tvrdých bronzů. Šedá litina, mosaz, měď, lehké kovy a jejich slitiny, karbidy, keramika a sklo se obrábí pomocí karbidu křemíku. [18]

PŘÍLOHA 1 (3/3)

Broušení

Velikost brousicích zrn nástroje určují zrnitost brusiva. Ta má vliv na průměrnou aritmetickou odchylku povrchu obrobené plochy. Pro volbu zrnitosti platí následující pravidla. Jemnější zrno volíme pro tvrdý a křehký materiál, pro materiál měkký a houževnatý používáme hrubší zrno. Při broušení rovinných ploch se používá větší zrno, aby nedocházelo k zanášení kotoučů a klesla velikost vzniklého tepla. Pro dosažení menší aritmetické úchytky povrchu se volí jemná zrna. [18]

Poměr pórů, brousicích zrn a pojiva v 1 cm^3 určuje struktura nástroje. Vyšší číslo struktury nástroje udává větší vzdálenost mezi brousicími zrní. Toto číslo se volí podle vlastností a velikosti obráběné plochy. Pro křehké materiály se používají hutnější kotouče. Pórovitější kotouče se volí pro obrábění plochy s větším dotykem a pro obrobky s velkým množstvím odebraného materiálu. [18]



Obr.16 Struktura kotouče [18]

PŘÍLOHA 2

Experiment k určení trvanlivosti nástroje

Pro příklad je uveden experiment pro určení trvanlivosti nástrojů při vysokorychlostním frézování slitiny titany TA15 nástroji z polykrystalického diamantu (PCB). Vlastnosti slitiny titanu jsou uvedeny v tab. 6. [19]

Tab.6 Vlastnosti slitiny titanu TA15 [19].

Napětí v tahu [MPa]	1 040
Smluvní mez kluzu [MPa]	855 - 959
Prodloužení [%]	7 - 10
Modul pružnosti [GPa]	123
Tvrdost [HRC]	40 - 44

Pro experiment byla použita fréza s průměrem 20 mm se dvěma zuby. Test se uskutečnil na obráběcím centru MICROS UCP710 s maximálním výkonem 16 kW a maximálními otáčkami vřetene 18 000 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$. Pro srovnání byly použity dvě řezné rychlosti, 250 a 350 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$, posuv 0,08 mm, axiální hloubka záběru 3 mm a radiální složka záběru 1 mm. Měření opotřebení nástroje se provádělo pomocí mikroskopického systému. [19]

Z experimentu bylo zjištěno, že trvanlivost nástroje z PCD při obrábění slitiny titanu TA15 řeznou rychlostí 250 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ je 85 min. Při změně řezné rychlosti na 350 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ trvanlivost nástroje klesne na 59 min. [19]